

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям

ННГУ им. Н.И. Лобачевского

кандидат физ.-мат. наук

М.Ю. Грязнов

« 22 » нояб 2024 г



ОТЗЫВ

Ведущей организации на диссертационную работу

Крауса Александра Евгеньевича

**«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГЕТЕРОГЕННЫХ
МАТЕРИАЛОВ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ»**

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности

1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела»

Актуальность работы

Современные технологии аддитивного производства позволяют конструировать уникальные материалы, для которых требуется изучение их физико-механических свойств в широком диапазоне изменения скоростей деформации, давления и т.д. На данный момент моделирование гетерогенного материала при динамическом нагружении позволяет определять упругие характеристики гетерогенного материала на основе характеристик его компонент и их концентрации. Однако, актуальной проблемой является разработка математической модели деформирования и критерия разрушения, а также определение их параметров с целью параметрической идентификации и верификации.

Основная часть работы посвящена решению данного вопроса. В работе предложены соотношения для оценки предельных параметров разрушения гетерогенных материалов и методики оценки этих параметров в численном моделировании динамических процессов.

Сказанное выше подтверждает актуальность вопросов, затронутых в диссертации, и говорит о своевременности проведенных исследований.

Структура работы

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 183 наименований. Диссертация включает 156 страниц машинописного текста, в том числе 79 рисунков и 18 таблиц. Во введении обоснована актуальность исследования, сформирована цель и задачи работы. В заключении представлены выводы по всей работе и намечены пути дальнейшего исследования.

Первая глава посвящена определению свойств гетерогенного материала за фронтом ударной волны без учета разрушения. В главе описана математическая постановка задачи, используемая во всех главах. Описаны модели гетерогенного материала, а именно аддитивная модель смеси и прямое численное моделирование. Проведено сравнение результатов моделирования распространения плоской ударной волны в гетерогенном материале с результатами экспериментов. Упругие характеристики гетерогенного материала, определенные при помощи моделирования гетерогенного материала, соответствуют экспериментальным данным в пределах погрешности 5%. Рассмотрены несколько вариантов граничных условий между матрицей и включениями для прямого численного моделирования нагружения гетерогенного материала с макровключениями. Показано, что при всех рассмотренных типах граничных условий между матрицей и

включениями, полученные параметры соответствуют результатам аддитивной модели смеси в пределах погрешности 2%, без учета разрушения. Исследовано влияние размеров макровключений на распространение плоской ударной волны.

Вторая глава посвящена определению свойств гетерогенного материала за фронтом ударной волны с учетом разрушения. В главе рассмотрена идентификация динамических параметров гетерогенного материала. Проведено численное моделирование откольного эксперимента, показавшего, что профили скорости свободной поверхности, рассчитанные прямым численным моделированием, сходятся с результатами экспериментов для гетерогенных материалов в пределах погрешностей 10%. Проведена аппроксимация предельного откольного разрушения гетерогенного материала на основе результатов моделирования откола при нагружении плоской ударной волной. На основе этого сформулирована зависимость предельного откольного напряжения гетерогенного материала от концентрации его компонент. Проведено исследование по определению предельных деформаций разрушения гетерогенных материалов, из которого получено соотношение для описания предельных деформаций разрушения гетерогенного материала на основе концентрации его компонент. Все определенные динамические параметры гетерогенного материала совпадают с результатами экспериментов в пределах погрешности 20%.

Третья глава посвящена применению гетерогенных материалов в защитных конструкциях. Рассмотрены прикладные задачи, посвященные динамической нагрузке гетерогенного материала: влияние компоновки пакета индивидуальной защиты на снижение ударного воздействия. Результаты моделирования показали, что применение гетерогенных материалов для

изготовления пластин в защитных пакетах снижает величину ударного воздействия на имитатор тела человека. Исследовано влияние скорости сноса на критические углы рикошетирования удлиненного стержня от гетерогенной преграды. Рассмотрены задачи о повышении стойкости защитных элементов космических аппаратов при взаимодействии с частицами космического мусора, а в частности решена задача о моделировании объемно армированного металломатричного композита (ММК) с учетом разрушения. Показано, что применение подобных ММК снижает объем образующегося запреградного облака осколков.

В заключении приведены выводы по диссертации, подводящие итог всех исследований, изложенных в работе.

Научная новизна положений, сформулированных в диссертации

В диссертационной работе А.Е. Крауса получены новые результаты, имеющие научную ценность:

- При численном исследовании процесса разрушения при отколе гетерогенных сред впервые получены соотношения для величины предельного откольного напряжения и предельной деформации разрушения.
- С использованием математического моделирования динамического нагружения объемно-армированного металломатричного композита с учетом разрушения впервые показано повышение баллистического предела по сравнению со слоенной преградой, имеющей аналогичную поверхностную плотность.

Достоверность полученных результатов

Достоверность результатов, полученных в работе, подтверждается корректностью математической постановки задачи и соответствием расчетных результатов экспериментальным данным. Проведены сравнения результатов с результатами экспериментальных работ других авторов,

показавшие их хорошую сходимость. Результаты, полученные путем численного моделирования динамического нагружения гетерогенного материала, и при аналитической оценке совпадают.

Теоретическая и практическая значимость

В работе определены зависимости параметров разрушения гетерогенных материалов от параметров разрушения и концентраций компонент, сведенные к аппроксимационным формулам. Данными соотношениями можно пользоваться для оценки параметров разрушения гетерогенных материалов. Итоги проведенного автором исследования вносят заметный вклад в области математического моделирования поведения гетерогенных материалов, обладающих комплексом уникальных деформационных и прочностных свойств.

Практическая значимость данной работы обусловлена широким спектром применения гетерогенных материалов, использующихся в качестве элементов защитных конструкций современных приборов и устройств, испытывающих интенсивные динамические воздействия. Также показана возможность математического моделирования подобных материалов со сложной гетерогенной структурой.

Замечания и пожелания по диссертационной работе

1. В диссертационной работе при анализе процессов высокоскоростного деформирования и разрушения исследуемых материалов диссертант использовал критические (постоянные) значения предельных характеристик пластичности и прочности. Представляется что подобный подход несколько устарел, поскольку эти характеристики могут являться функциями скорости деформации, температуры, давления и т.д. Хотелось бы пожелать автору в дальнейшем использовать в программном комплексе

“REACTOR 3D” определяющие соотношения пластичности типа Джонсона-Кука, а в качестве критерия разрушения – соотношения Холмквиста-Джонсона-Кука.

2. В тексте диссертации замечены отдельные опечатки (несогласованные окончания слов, ошибки в знаках препинания).

Следует отметить, что указанное в п.1 пожелание носит рекомендательный характер, а замечание не влияет на общую положительную оценку работы.

Диссертационная работа по содержанию и методам исследования соответствует пунктам: 2 – «Теория определяющих соотношений деформируемых тел с простой и сложной структурой», 4 – «Механика композиционных материалов и конструкций, механика интеллектуальных материалов», 8 – «Динамика деформируемого твёрдого тела. Теория волновых процессов в средах различной структуры», 12 – «Вычислительная механика деформируемого твёрдого тела» паспорта специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела, физико-математические науки.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 18 научных публикациях, включая 6 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, 12 статей в журналах, включенных в библиографическую базу цитирования Web of Science и Scopus. Положения и выводы диссертации прошли хорошую апробацию на научных конференциях.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации и суть проведенных исследований.

Диссертация написана единолично, обладает внутренним единством и содержит новые научные результаты, свидетельствующие о личном вкладе автора в развитие механики деформируемого твердого тела.

Диссертация удовлетворяет пунктам 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 года №842, а именно является научно-квалификационной работой, демонстрирующей возможность определения критериев разрушения при динамическом нагружении гетерогенных материалов. Результаты, полученные в работе, имеют существенное значение для развития моделирования деформируемых гетерогенных тел с учетом разрушения.

Учитывая вышеизложенное, диссертационная работа «Определение прочностных свойств гетерогенных материалов при динамических воздействиях» соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Краус Александр Евгеньевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела».

Отзыв подготовлен доктором технических наук, профессором Браговым Анатолием Михайловичем, научная специальность 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Отзыв на диссертацию обсужден и одобрен на ученом совете Научно-исследовательского института механики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (НИИМ Нижегородского университета), Протокол №11 от 21 ноября 2024 г.

Заведующий лабораторией

«Динамических испытаний материалов»

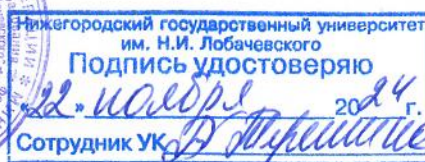
Научно-исследовательского института механики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего

образования «Национальный исследовательский Нижегородский
государственный университет им. Н.И. Лобачевского»,
доктор технических наук, специальность 01.02.04 – Механика
деформируемого твердого тела

профессор



Брагов Анатолий Михайлович



Контактные данные организации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования "Национальный исследовательский Нижегородский
государственный университет им. Н.И. Лобачевского"

Адрес местонахождения образовательной организации:

603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23.

Контактные телефоны:

Телефон: (831) 462-30-03

Факс: (831) 462-30-85

Адрес электронной почты E-mail: unn@unn.ru

Адрес <http://unn.ru>